



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 290 099**

51 Int. Cl.:  
**G08C 13/00** (2006.01)  
**H04B 7/26** (2006.01)  
**G08C 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01308958 .6**  
86 Fecha de presentación : **22.10.2001**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1207507**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **22.05.2002**

54 Título: **Procedimiento y aparato para reducir problemas de retardo diferencial en sistemas de comunicaciones de audio con por lo menos dos transmisores.**

30 Prioridad: **23.10.2000 GB 0025916**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.02.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.02.2008**

73 Titular/es: **National Air Traffic Services Limited**  
**400 Parkway**  
**Whiteley, Fareham, Hampshire PO15 7FL, GB**

72 Inventor/es: **Cruickshank, Stephen Kenneth**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 290 099 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para reducir problemas de retardo diferencial en sistemas de comunicaciones de audio con por lo menos dos transmisores.

5 La presente invención se refiere a los sistemas de comunicaciones de audio que disponen por lo menos de dos transmisores capaces de transmitir señales de audio idénticas a un receptor. Los sistemas de este tipo se utilizan a veces en la industria de la aviación para la comunicación entre los centros de control de tráfico aéreo y los aviones. La Figura 1 ilustra esquemáticamente uno de dichos sistemas. Como se representa en la Figura 1, las señales de audio (es decir, de voz) son transmitidas desde un centro de control de tráfico aéreo 10 hasta dos transmisores de radiofrecuencia 12 y 13, a través de una red 11 que se describirá más adelante. Los transmisores se comunican con el equipo de un avión 14, lugar donde se reproducen las señales de audio. En la Figura 1, se representa un ejemplo particular de un avión que se aproxima al sudeste de Inglaterra desde la ciudad de Boulogne situada en la costa de Francia. Cuando el avión se halla cerca de Inglaterra, recibe las señales de control de tráfico aéreo desde los transmisores 12 y 13 situados en Winstone y Warlingham. El tiempo que tardan las señales en alcanzar el avión por medio de la red 11 y el transmisor 12 es diferente al tiempo que tardan las señales en alcanzar el avión por medio de la red 11 y el transmisor 13. Esta diferencia constituye lo se denomina "retardo diferencial".

20 Este retardo es motivado por dos factores. El primer factor viene determinado por las distancias relativas entre los respectivos transmisores y el avión y el segundo factor viene determinado por los diferentes tiempos de propagación de las señales hasta los respectivos transmisores por medio de la red 11. El retardo diferencial provoca un desfase entre las respectivas señales, hecho que genera una interferencia destructiva a ciertas frecuencias (así como una interferencia constructiva a otras frecuencias) y, por lo tanto, una atenuación (y amplificación) significativa y la consiguiente distorsión de la señal recibida en ciertas bandas de frecuencias. En la mayor parte de su recorrido, la intensidad de la señal recibida por el avión es desigual, de tal forma que la señal de un transmisor amortigua la otra y la distorsión resulta insignificante. No obstante, el retardo diferencial puede ocasionar problemas cuando el receptor recibe la misma potencia audio desde ambos transmisores. A distancias iguales desde cada transmisor o estación de radio, la intensidad de la señal no es necesariamente igual. La intensidad de la señal de cada estación puede depender de muchos factores, entre los cuales se hallan los siguientes:

30 el diagrama polar de la antena del sitio del transmisor,  
la altura (la onda de superficie y la onda directa interactúan para variar la intensidad de la señal),  
35 la masa terrestre entre la estación y el avión (especialmente en largas distancias),  
el diagrama polar de la antena del avión y  
el viraje del avión.

40 En el ejemplo de la Figura 1, los transmisores 12,13 se hallan a 225 km y 125 km del avión.

Esto provoca un retardo diferencial de:

$$45 \frac{100.000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s (la velocidad de la luz en el aire)}} = 0,33 \text{ milisegundos}$$

50 Se ha calculado que el retardo debido a los diferentes tiempos de propagación a través de la red 11 es de 0,5 milisegundos, lo cual da como resultado un retardo diferencial total de 0,83 milisegundos.

55 El valor subjetivo del nivel de degradación a las frecuencias de audio depende de la duración del retardo diferencial, puesto que los diferentes retardos provocan la atenuación de frecuencias diferentes. Idealmente, el retardo diferencial debe ser inferior a alrededor de 0,1 ms. No obstante, esto no resulta viable, ya que la diferencia de los retardos de propagación desde los transmisores hasta el avión puede superar este valor, incluso en emplazamientos en los que las intensidades de las señales de los transmisores son similares. Los retardos diferenciales de hasta aproximadamente 2 ms tienden a generar un sonido particularmente deficiente, ya que provocan nulos de gran amplitud en el espectro de audio recibido. Se ha comprobado que los retardos más altos dan mejores resultados a los operadores de radiocomunicaciones, porque generan numerosos nulos y picos de audio de poca anchura, conservan una gran proporción de la potencia de audio original y proporcionan una voz fácilmente comprensible. No obstante, el retardo no debe ser demasiado grande, ya que en tal caso se produciría un retardo audible en el tono lateral recibido por el operador desde el receptor de referencia, hecho que provocaría mucha confusión en el operador.

65 Los gráficos de las Figuras 2 y 3 facilitarán la comprensión del problema. Las Figuras 2(a) y 3(a) representan las variaciones en el tiempo de una señal de voz corriente recibida simultáneamente desde dos transmisores separados por retardos diferenciales diferentes de 0,20 ms y 4 ms, respectivamente, mientras que las Figuras 3(a) y 3(b) representan los diagramas de densidad espectral de potencia de la señal transmitida y la señal recibida. Estos gráficos se han obtenido mediante simulación por ordenador utilizando datos de voz reales.

## ES 2 290 099 T3

Como se pone de manifiesto en la Figura 2(b), un retardo diferencial de 0,2 ms provoca una grave distorsión de la señal de audio. Si se compara la señal transmitida, representada en línea discontinua, con la señal recibida, representada en línea continua, se observa que se produce una atenuación importante de las señales por encima de 2.500 Hz, aproximadamente. No obstante, en la Figura 3(b), se observan numerosos nulos en el espectro. (El audio se filtra por encima de los 3,4 kHz para limitar el ancho de banda.) Por lo tanto, la cantidad de información audio original que se pierde es muy pequeña y la señal de la Figura 3 es de una calidad aceptable.

El problema del retardo diferencial ha sido abordado temporalmente añadiendo un retardo fijo en uno de los enlaces con los transmisores para tratar de asegurar que el retardo diferencial sea siempre igual a 4 ms (dicho sea de paso, los valores de este orden no tienen ningún efecto apreciable sobre las señales portadoras de RF). No obstante, esta solución requiere llevar a cabo una medición manual del retardo diferencial y a veces falla debido al reencaminamiento de la señal de audio a través de la red 11. La red suele constar de enlaces de telecomunicaciones digitales, el funcionamiento de los cuales puede ser supervisado por una tercera parte y ser llevado a cabo fuera del control del proveedor de control de tráfico aéreo. Por consiguiente, tal vez no se informe siempre al proveedor de control de tráfico aéreo de todos los reencaminamientos producidos en la red 11.

Por consiguiente, se plantea la necesidad de disponer de un sistema de comunicaciones que evite los problemas del retardo diferencial incluso cuando las señales que se desplazan por la red se reencaminan.

Idealmente, es necesario que la solución a este problema cumpla los requisitos siguientes:

la calidad de audio debe ser independiente del retardo de la red digital que proporciona las señales a los transmisores,

debe ser independiente del sistema de control y supervisión RICE (radio telephony interface control equipment), puesto que sería difícil y costoso realizar modificaciones,

debe ser compatible con el sistema de control y supervisión analógico actual,

la calidad del audio debe ser aceptable para los aviones que reciben desde un único transmisor dominante,

la calidad del audio debe ser aceptable para los aviones que reciben dos señales de potencia similar desde transmisores diferentes (para dos y tres transmisores),

la calidad del audio del tono lateral fuera del canal de conversación desde la estación receptora hasta el controlador del tráfico aéreo debe ser aceptable,

las modalidades de fallo son importantes y deben tenerse en cuenta y

la infraestructura de comunicaciones existente sólo debe precisar cambios de poca importancia.

La presente invención resuelve este problema aplicando un procesamiento adicional a la señal de audio antes de que ésta llegue a los transmisores.

Por lo tanto, la presente invención proporciona un sistema de comunicaciones de audio que incluye una fuente de señales de audio, por lo menos dos transmisores para transmitir señales de audio idénticas generadas por la fuente de señales de audio a uno o más receptores, y unos medios de red para transmitir señales desde la fuente de señales de audio hasta los transmisores, en el que los transmisores transmiten al receptor o los receptores señales moduladas que son desmoduladas por el receptor o los receptores, caracterizado porque por lo menos uno de los transmisores está provisto de unos medios para modificar las señales recibidas desde los medios de red, antes de su transmisión, y cambiar de ese modo la fase de las señales recibidas en una cantidad que es una función del tiempo o de la frecuencia de la señal recibida, de tal forma que la señal de dicho por lo menos un transmisor sea diferente de la correspondiente señal del otro transmisor o transmisores.

La presente invención también proporciona un procedimiento para utilizar un sistema de comunicaciones como el descrito en la reivindicación 18.

En la forma de realización preferida, los medios de procesamiento de señales comprenden simplemente un filtro. El filtro actúa sobre la señal digital recibida a través de la red 11 antes de que sea transmitida desde el transmisor 12 ó 13. La variación de parámetros puede ser aleatoria, pero el filtro preferido es un filtro cuya respuesta varía de forma periódica; por ejemplo, siguiendo una trayectoria sinusoidal, a lo largo del tiempo o de la frecuencia de la señal recibida. Además, el filtro puede variar la amplitud de las señales. En el caso de un sistema del tipo ilustrado en la Figura 1, uno o ambos transmisores pueden estar provistos de unos medios de procesamiento de señales. En caso de que ambos transmisores estén provistos de unos medios de procesamiento de señales que aplican una variación periódica a la fase de la señal con respecto a la frecuencia, es preferible que las características de cambio de fase/frecuencia de los dos medios de procesamiento de señales presenten un desfase mutuo de 180°. No obstante, debe tenerse en cuenta que el objetivo de la presente invención es conseguir, en el receptor, que algunas de las frecuencias de audio estén en fase unas con otras aunque todavía queden algunas frecuencias que estén en desfase.

## ES 2 290 099 T3

En la disposición preferida, los transmisores transmiten señales moduladas en amplitud hasta el receptor o los receptores, aunque el sistema puede funcionar igualmente bien con otros tipos de modulación, tales como la modulación en frecuencia y la modulación por anchura de impulso. La implementación de la presente invención no requiere ningún tipo de hardware adicional en las estaciones transmisoras. Muchos transmisores de señales presentan procesadores de señales adecuados que simplemente necesitan ser reprogramados para proporcionar el prefiltrado necesario para llevar a la práctica la presente invención.

A continuación, se describirán formas de realización de la presente invención únicamente a título de ejemplo, consideradas conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de comunicaciones de audio convencional, en el que un centro de control de tráfico aéreo se comunica con un avión;

la Figura 2(a) representa la variación en el tiempo de la amplitud de las señales de audio recibidas desde dos transmisores, con la misma intensidad y un retardo mutuo de 0,2 ms;

la Figura 2(b) representa las densidades espectrales de potencia de las señales transmitidas y recibidas correspondientes a la Figura 2(a);

las Figuras 3(a) y 3(b) son similares las Figuras 2(a) y 2(b) y representan las señales con un retardo mutuo de 4 ms;

la Figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema de comunicaciones de audio según la presente invención, en el que un centro de control de tráfico aéreo se comunica con un avión;

la Figura 5 es un gráfico retardo-tiempo para un filtro que aplica a las señales un retardo aleatorio a lo largo del tiempo;

la Figura 6 es un gráfico que ilustra la respuesta de un filtro que aplica una variación sinusoidal a la fase con respecto a la frecuencia;

la Figura 7 representa la respuesta impulsiva, la respuesta de magnitud y el retardo de grupo para un filtro que impone una variación monótonica del retardo de grupo con respecto a la frecuencia;

las Figuras 8(a) a (d) son gráficos habituales de las respuestas de filtro para los filtros que aplican variaciones sinusoidales de fase y amplitud con respecto a la frecuencia;

las Figuras 9(a) y (b) son gráficos de respuestas de filtro para los filtros que aplican una variación sinusoidal de fase con respecto a la frecuencia, utilizados en un sistema de dos transmisores;

las Figuras 10(a) a (c) son gráficos de respuestas de filtro para tres filtros que aplican una variación sólo sinusoidal de fase con respecto a la frecuencia, utilizados en un sistema de tres transmisores;

la Figura 11(a) representa la variación en amplitud con respecto al tiempo de las señales de audio recibidas desde dos transmisores, con la misma intensidad y un retardo mutuo de 0,25 ms;

la Figura 11(b) representa las densidades espectrales de potencia de las señales transmitidas y recibidas correspondientes a la Figura 11(a), después del prefiltrado con el filtro preferido, para ser utilizadas en un sistema de dos transmisores según la presente invención y

las Figuras 12(a) y (b) son similares a las Figuras 11(a) y (b) y representan las señales con un retardo de 5 ms.

Haciendo referencia a la Figura 4, los elementos del dibujo que se corresponden con elementos similares de la Figura 1 se designan mediante los mismos números de referencia. El sistema de la Figura 4 es similar al de la Figura 1, excepto porque, en cada transmisor 12, 13, está presente un filtro de retardo de grupo 15 entre el equipo de control de estación de radio transmisora 16 y los transmisores de salida 17.

Debe observarse que, aunque los dos transmisores 17 funcionan con la misma frecuencia de modulación en amplitud teórica, en realidad las frecuencias están ligeramente desplazadas, de tal forma que la estación de radio 12 funciona a 125,005 MHz y la estación 13 funciona a 124,995 MHz. La imprecisión del sintonizador del avión permite que ambas señales sean recibidas y desmoduladas simultáneamente.

Como se ha indicado anteriormente, la degradación de las señales recibidas cuando existe un retardo diferencial entre los dos transmisores se produce debido a que las dos señales de audio idénticas interfieren entre sí. Cuando el retardo es igual a un número impar de medias longitudes de onda, las frecuencias experimentan una interferencia destructiva, en cambio, cuando el retardo es igual a un número par de medias longitudes de onda, las frecuencias experimentan una interferencia constructiva, de tal forma que esas frecuencias son potenciadas, generándose unas señales recibidas que pueden percibirse de forma muy amortiguada o distorsionada.

## ES 2 290 099 T3

Las señales de audio se someten a un prefiltrado que modifica las dos señales de maneras diferentes, con la finalidad de que éstas lleguen a ser suficientemente distintas entre sí como para que la cantidad de interferencia mutua se reduzca considerablemente. Al mismo tiempo, como es evidente, es importante no modificar demasiado las señales para no provocar una distorsión audible de las mismas. Esto resultaría muy inadecuado, puesto que la distorsión sería apreciable incluso en el caso de un único transmisor dominante. Un resultado aceptable sería un resultado que pudiera compararse con el representado en la Figura 3(b).

Se ha investigado una serie de tipos de filtros diferentes y comprobado la idoneidad de éstos mediante simulación por ordenador. Para cada tipo de filtro, se han probado voces de hombre y de mujer y una diversidad de retardos diferenciales comprendidos entre 0 y 30 ms. En algunos casos, se ha aplicado un filtro a un transmisor sólo y en otros, se ha aplicado el prefiltrado a ambos transmisores. Los filtros que han dado mejores resultados son los que aplican una variación sinusoidal de un parámetro de la señal (por ejemplo, la fase o la amplitud) con respecto a la frecuencia, aunque también se obtienen resultados útiles de otros filtros.

A continuación, se describen ejemplos de filtros adecuados.

Algunos filtros se definen en términos de su respuesta en frecuencia  $H(f)$ . Esto establece una relación en el dominio de la frecuencia entre las señales de entrada y las señales de salida de los filtros de la forma siguiente:

$$Y(f) = H(f) X(f)$$

siendo  $Y(f)$  y  $X(f)$ , respectivamente, las transformadas de Fourier de la señal de salida y la señal de entrada en el dominio del tiempo  $y(t)$  y  $x(t)$ . Para tomar en consideración la posibilidad de dos filtros, se definen dos respuestas en frecuencia, en particular,  $H_1(f)$  y  $H_2(f)$ .

### Ejemplo 1

#### *Variación sinusoidal del retardo con respecto al tiempo para un transmisor*

Este filtro aplica a las señales de entrada  $x(t)$  un retardo  $\delta$  que varía sinusoidalmente en el tiempo. Por lo tanto, la salida del filtro  $y(t)$  viene proporcionada por:

$$y(t) = x(t - \delta)$$

siendo  $\delta = A \cos(2\pi t/T)$ .

Los parámetros utilizados para las pruebas son  $A = 20$  y  $T = 0,2$  s. Las señales recibidas utilizando esta disposición son claramente inteligibles aunque algo distorsionadas.

### Ejemplo 2

#### *Variación aleatoria del retardo con respecto al tiempo para un transmisor*

Este filtro es similar al filtro anterior, excepto en que el valor  $\delta$  se define escogiendo un grupo de valores aleatorios,  $n$ , entre  $-0,5$  y  $0,5$  y utilizando una función spline para ajustar los puntos y generar una curva suave pero aleatoria. La amplitud de la curva se escala después mediante un factor  $A$ . Se realizan pruebas con diferentes valores de  $n$ . En la Figura 5, se representa un ejemplo de la variación del retardo a lo largo del tiempo, para  $A = 20$ .

### Ejemplo 3

#### *Variación sinusoidal de la amplitud con respecto al tiempo para ambos transmisores*

El filtro aplica una modulación sinusoidal en amplitud a la señal de entrada, de tal forma que las señales de salida de los 2 transmisores vienen proporcionadas por:

$$y_1(t) = x(t)[(1 + A \sin(2\pi t/T))]$$

$$y_2(t) = x(t)[(1 + A \sin(2\pi t/T))]$$

También en este caso, se realizan pruebas con valores diferentes de los parámetros  $A$  y  $T$ , tales como, por ejemplo,  $A = 0,5$  y  $T = 0,01, 0,1$  ó  $1$  s. Aunque las señales son inteligibles, los cambios periódicos de la magnitud de la señal son claramente audibles, particularmente en el caso de un único transmisor, con lo cual se reduce la nitidez de la señal.

## ES 2 290 099 T3

### Ejemplo 4

*Variación sinusoidal de la amplitud con respecto a la frecuencia para un transmisor*

5 Para este transmisor particular, la respuesta en frecuencia viene proporcionada por:

$$H_1(f) = 1$$

10

$$H_2(f) = 1 + A \operatorname{sen}(2\pi N_f f')$$

15 siendo  $A$  la magnitud de la variación de la amplitud y  $N_f$  el número de ciclos por unidad de frecuencia. En ésta y todas las ecuaciones subsiguientes,  $f'$  es la frecuencia normalizada, definida como la frecuencia  $f$  dividida por la mitad de la frecuencia de muestreo, es decir:

$$20 \quad f' = \frac{f}{F_s/2},$$

siendo  $F_s = 8$  KHz.

25 Resultan adecuados los parámetros  $A = 0,6$  y  $N_f = 8$ . Debe observarse que las características del filtro (y de todos los filtros subsiguientes) no varían en el tiempo.

### Ejemplo 5

30

*Variación sinusoidal de fase con respecto a la frecuencia para un transmisor*

En esta disposición propuesta, las dos respuestas en frecuencia vienen proporcionadas por:

35 1<sup>er</sup> Transmisor  $H_1(f) = 1$  (es decir, sin prefiltrado)

2<sup>o</sup> Transmisor  $H_2(f) = \exp(-j\pi P \operatorname{sen}(2\pi N_f f'))$

40 En este ejemplo,  $N_f$  es el número de ciclos por unidad de frecuencia y  $P$  es la amplitud de la variación de fase sinusoidal. La Figura 6 es un gráfico que ilustra la respuesta del filtro para un conjunto de parámetros comunes. Se realiza una prueba del filtro con los valores  $P = 0,3$  y  $N_f = 8$ . El filtro proporciona una mejora evidente de la calidad del sonido a través del rango de retardos diferenciales.

45

### Ejemplo 6

*Variación monótonica de retardo de grupo con respecto a la frecuencia para un transmisor*

50 Como en el caso anterior, este filtro modifica la fase de la señal en el dominio de la frecuencia. No obstante, en lugar de aplicar una variación periódica, genera una variación monótonica de fase (y por lo tanto de retardo de grupo). La respuesta en frecuencia es:

55

$$H_1(f) = 1$$

$$H_2(f) = \exp(-j\pi P f'^2),$$

60 siendo también esta vez  $P$  una constante que define la magnitud de la variación. La Figura 7 representa la variación del retardo de grupo con respecto a la frecuencia y la correspondiente respuesta impulsiva del filtro, con  $P = 128$ . Las señales recibidas son inteligibles, aunque éste no es el mejor filtro ya que determina que las señales recibidas tengan un sonido muy metálico. La salida del transmisor único tiene un sonido especialmente singular. Además, este filtro impone un retardo global grande sobre las señales a frecuencias más altas, lo cual genera una cantidad desconcertante de eco en el tono lateral escuchado por los controladores. A pesar de todo, este filtro puede resultar útil en ciertas aplicaciones.

65

## ES 2 290 099 T3

### Ejemplo 7

#### *Variación sinusoidal de fase y amplitud con respecto a la frecuencia para ambos transmisores*

5 Las respuestas en frecuencia de estos filtros se especifican inicialmente mediante las ecuaciones siguientes:

$$H_1(f) = (1 - A \operatorname{sen}(2\pi N_f f' + \pi/2)) \exp(-j\pi P \operatorname{sen}(2\pi N_f f'))$$

10

$$H_2(f) = (1 + A \operatorname{sen}(2\pi N_f f' + \pi/2)) \exp(+j\pi P \operatorname{sen}(2\pi N_f f'))$$

15 A partir de las respuestas en frecuencia, se hallan las derivaciones de las respuestas impulsivas mediante las transformadas inversas de Fourier. Una propiedad útil de los filtros con respuestas en frecuencia periódicas es que la respuesta impulsiva consta sólo de algunas derivaciones no cero situadas a la misma distancia unas de otras (esto se deriva del hecho de que la respuesta impulsiva y la respuesta en frecuencia son transformadas de Fourier una respecto de la otra, y la FT de una forma de onda periódica es una serie de valores discretos). Esto significa que este tipo de  
20 filtro es muy fácil de implementar y sólo necesita una pequeña cantidad de potencia de procesamiento. Para simplificar el filtro, sólo se conservan las derivaciones más grandes (o se utiliza un número menor de éstas, si menos de 6 son superiores a 0,002). Estas derivaciones se hallan a la misma distancia unas de otras, correspondiendo dicha distancia a  $2 \cdot N_f$  muestras a una frecuencia de muestreo de audio de 8 kHz.

25 Como en el caso anterior, el parámetro A determina la magnitud de la variación de la amplitud y P determina la magnitud de la variación de la fase.  $N_f$  determina el período de ambas variaciones y, en consecuencia, la separación de las derivaciones de la respuesta impulsiva, que es el factor principal determinante del retardo medio de las señales que pasan a través del filtro. En realidad, el retardo medio es aproximadamente igual al tiempo entre la primera derivación y la derivación más grande de la respuesta impulsiva del filtro. En los filtros que se han estudiado, la derivación más  
30 grande es la 2ª o la 3ª derivación no cero. Esto determina un retardo medio de aproximadamente  $2 \cdot N_f$  muestras, que equivale a  $N_f/4$  o  $N_f/2$  ms, respectivamente. Se han realizado pruebas con combinaciones de parámetros diferentes. Las Figuras 8(a) a (d) representan gráficos habituales de las respuestas del filtro.

35 Estos filtros resultan adecuados y, en general, proporcionan resultados satisfactorios con un único transmisor, así como mejores resultados con dos transmisores, con respecto al rango completo de retardos diferenciales comprobados. Algunas combinaciones de parámetros proporcionan mejores resultados que otras, aunque en algunos casos es muy difícil elegir entre éstas. Globalmente, el conjunto de parámetros más favorable es  $A = 0,3$ ,  $P = 0,3$  y  $N_f = 8$ .

### Ejemplo 8

40

#### *Variación sinusoidal de la amplitud con respecto a la frecuencia para ambos transmisores*

En este ejemplo, se toman en consideración los efectos de la variación de cualquiera de las amplitudes con respecto a la frecuencia, estableciendo  $P = 0$  en la fórmula del ejemplo 7 para la respuesta en frecuencia. Esto proporciona  
45 resultados aceptables, aunque no tan nítidos como en el ejemplo 7.

### Ejemplo 9

#### *Variación de fase sinusoidal con respecto a la frecuencia para ambos transmisores*

50

Dando a A el valor cero en la fórmula de la respuesta en frecuencia proporcionada en el ejemplo 2, se puede investigar también el efecto producido variando únicamente la fase. Tanto para uno como para dos transmisores, las señales son casi idénticas a los resultados para la versión preferida del transmisor de variación de amplitud y fase descrito en el ejemplo 2. El mejor conjunto de parámetros resulta ser el que comprende  $P = 0,3$  y  $N_f = 8$ . Los gráficos  
55 de la respuesta del filtro para este conjunto de parámetros se proporcionan en las Figuras 9(a) y (b).

Puesto que esta disposición no afecta de forma significativa a la amplitud de las señales transmitidas, se considera en cierto grado más preferible que la del ejemplo 7. Estos filtros también son adecuados en la medida en que el retardo medio que añaden a las señales es de 4 ms que es comparable con el retardo fijo utilizado actualmente.

60

Como se ha indicado anteriormente, la degradación de las señales recibidas cuando existe un retardo diferencial se produce porque la interferencia genera nullos en ciertas partes del espectro del audio. Además del filtrado descrito anteriormente, es posible incrementar la potencia o acentuar previamente las partes más importantes del espectro, para que de ese modo el efecto de los nullos no sea tan grave.

65

Por ejemplo, es posible realizar un preénfasis en conjunción con el filtro de fase sinusoidal sólo del ejemplo 9. Antes de su paso por ese filtro, las señales transmitidas pueden ser filtradas a través de un filtro pasabanda modificado, que puede ser un filtro de Butterworth de 1º orden con los coeficientes ajustados para que la salida del filtro sea igual

## ES 2 290 099 T3

a la entrada más una proporción variable del filtro pasabanda original. Por lo tanto, si la respuesta en frecuencia del filtro de Butterworth de 1<sup>er</sup> orden no modificado  $H(f)$  es proporcionada por:

$$H(f) = B/A,$$

siendo B y A los coeficientes del filtro, la respuesta en frecuencia  $H(f)$  del filtro modificado viene proporcionada por:

$$H'(f) = 1 + K(B/A),$$

siendo K una constante que determina la proporción del filtro original que se añade a la señal original. Las frecuencias que pueden necesitar preénfasis se hallan comprendidas entre 500 y 2.000 Hz.

Existe un pequeño grupo de sectores de control de tráfico aéreo en los que se utilizan tres transmisores en lugar de dos. En dichas situaciones, aunque el prefiltrado de dos de cada tres señales transmitidas puede reducir la distorsión debida al retardo diferencial, la solución preferida es prefiltrar las señales de los tres transmisores.

### Ejemplo 10

#### *Combinaciones de variación sinusoidal de fase y amplitud para tres transmisores*

El filtro de cada transmisor se basa en el ejemplo 7, pero los tres transmisores presentan combinaciones diferentes de A y P. Las respuestas en frecuencia vienen proporcionadas por:

$$H_1(f) = (1 - A_1 \sin(2\pi N_f f' + \pi/2)) \exp(-j\pi P_1 \sin(2\pi N_f f'))$$

$$H_2(f) = (1 + A_2 \sin(2\pi N_f f' + \pi/2)) \exp(+j\pi P_2 \sin(2\pi N_f f'))$$

$$H_3(f) = (1 + A_3 \sin(2\pi N_f f' + \pi/2)) \exp(-j\pi P_3 \sin(2\pi N_f f'))$$

siendo los parámetros elegidos:

$$\text{Tx1: } A_1 = 0,3 \text{ y } P_1 = 0,3$$

$$\text{Tx2: } A_2 = 0,0 \text{ y } P_2 = 0,3$$

$$\text{Tx3: } A_3 = 0,3 \text{ y } P_3 = 0,0$$

Se realizan pruebas con las siguientes combinaciones de amplitudes y retardos de señal:

|   |                     | Tx1    | Tx2       | Tx3       |
|---|---------------------|--------|-----------|-----------|
| 1 | Ampl. Retardos (ms) | 1<br>0 | 1<br>2    | 1<br>0-25 |
| 2 | Ampl. Retardos (ms) | 1<br>0 | 0<br>-    | 1<br>0-25 |
| 3 | Ampl. Retardos (ms) | 1<br>0 | 1<br>0-25 | 0<br>-    |
| 4 | Ampl. Retardos (ms) | 0<br>- | 1<br>0    | 1<br>0-25 |

NB: se elige 2 ms para el retardo diferencial fijo de Tx2 en el caso 1, debido a que este retardo es uno de los peores. Los resultados para otros valores de retardo deberán ser mejores, puesto que la señal combinada de Tx1 y Tx2 se degradará menos.

El caso 1 simula situaciones en las que el avión es aproximadamente equidistante de los 3 transmisores (esto sólo puede cumplirse con respecto a una pequeña zona de espacio). Los casos 2, 3 y 4 simulan situaciones en las que el avión es equidistante de dos de los transmisores pero se halla bastante alejado del tercero.

## ES 2 290 099 T3

Los resultados de los casos 1 y 3 son buenos, y las señales recibidas son bastante nítidas a través del rango de retardos. Los resultados de los casos 2 y 4 son menos satisfactorios, puesto que las señales recibidas presentan un sonido bastante débil y una degradación todavía apreciable en los retardos inferiores. Esto está en coherencia con el rendimiento deficiente obtenido cuando uno de los transmisores dominantes es el Tx3, puesto que dicho filtro no utiliza variación de fase.

### Ejemplo 11

#### *Variación sinusoidal de fase sólo, con valores de $N_f$ diferente*

Otra alternativa es utilizar la variación de fase sólo (puesto que la variación de amplitud es menos deseable en general), pero con un período diferente para uno de los transmisores. En este caso, las respuestas en frecuencia vienen proporcionadas por:

$$H_1(f) = \exp(-j\pi P \operatorname{sen}(2\pi N_{f1} f'))$$

$$H_2(f) = \exp(-j\pi P \operatorname{sen}(2\pi N_{f2} f'))$$

$$H_3(f) = \exp(+j\pi P \operatorname{sen}(2\pi N_{f2} f'))$$

siendo  $P = 0,3$ ,  $N_{f1} = 7$  y  $N_{f2} = 8$ . Las respuestas de filtro de los 3 filtros se representan gráficamente en las Figuras 10 (a) a (c).

Se examinan las mismas combinaciones de amplitudes y retardos de señal que en el ejemplo 10 de la sección. (El caso 4 es igual al caso de los dos transmisores investigado en el ejemplo 9; por consiguiente, las simulaciones no se repiten.)

Los resultados de los casos 2 y 3 son buenos. El sonido de las señales recibidas es aproximadamente similar en todo un amplio rango de retardos y casi tan nítido como el de los mejores resultados para dos transmisores. En el caso 1, el sonido de las señales recibidas no es tan bueno (es más estridente y va acompañado de un pitido de fondo ligeramente agudo). No obstante, estas señales son mejores que las señales no procesadas. Por último, puesto que no se realiza modulación en amplitud, los casos de un solo transmisor también siguen siendo buenos.

#### *Coefficientes de Filtro*

La salida de un filtro viene definida por sus coeficientes  $a$  y  $b$ , según la siguiente ecuación:

$$a_0 y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + \dots + b_k x(n-k) + \dots - a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2) - \dots - a_k y(n-k) - \dots,$$

siendo  $y(n)$  la  $n$ -ésima muestra de la salida y  $x(n)$  la  $n$ -ésima muestra de la entrada.

A continuación, se indican los coeficientes de los dos filtros recomendados y el filtro de preénfasis. Cualquier coeficiente que no esté contenido en la tabla es igual a cero.

Para los tipos de filtros de los ejemplos 7 y 9, los coeficientes  $b$  no cero presentan la misma separación unos de otros (la separación  $\Delta$ ), que varía con el valor de  $N_f$ . Para  $N_f = 6, 8$  y  $12$ ,  $\Delta$  adopta los valores 12, 16 y 24, respectivamente. La notación  $b_\Delta$  indica el  $\Delta$ -ésimo coeficiente  $b$ , es decir, para  $\Delta = 16$ ,  $b_\Delta$ ,  $b_0$  y  $b_{2\Delta}$  representan el 1<sup>er</sup>, el 17<sup>o</sup> y el 33<sup>er</sup> coeficientes.

En el caso de los tres transmisores, dos de los transmisores deberán presentar los mismos coeficientes y separaciones que los proporcionados en la tabla del ejemplo 9. El tercer transmisor deberá presentar los mismos coeficientes que Tx1, pero una separación de  $\Delta = 14$  (equivalente a  $N_f = 7$ ).

*Filtros preferidos*

| Tipo de filtro | Parámetros    | Tx       | Coefficientes   |
|----------------|---------------|----------|---|
| EJEMPLO 7      | A =0,0, P=0,3 | 1<br>(3) | $a_0=1,0$<br>$b_0=0,103, b_D=-0,421, b_{2D}=0,790, b_{3D}=0,421, b_{4D}=0,103,$<br>$b_{5D}=0,017$     |
|                |               | 2        | $a_0=1,0$<br>$b_0=0,103, b_D=0,421, b_{2D}=0,790, b_{3D} = -0,421, b_{4D}=0,103,$<br>$b_{5D} =-0,017$ |
| EJEMPLO 9      | A =0,3, P=0,3 | 1        | $a_0=1,0, a_1=0,169,$<br>$b_D =-0,555, b_{2D}=0,790, b_{3D}=0,287, b_{4D}=0,037$                      |
|                |               | 2        | $a_0=1,0$<br>$b_0=0,169, b_D=0,555, b_{2D}=0,790, b_{3D} = -0,287, b_{4D}=0,037$                      |

*Filtro de preénfasis*

| Parámetros         | Tx   | Coefficientes   |
|--------------------|------|---|
| k=1<br>1250-1750Hz | 1, 2 | $a_0=1,0, a_1 =-0,651, a_2=0,668$<br>$b_0=1,166, b_1=-0,651, b_2=0,502$ |

Como se ha indicado anteriormente, el filtro preferido para un sistema de dos transmisores es el proporcionado en el ejemplo 9. Las Figuras 11(a) y 12(a) representan las variaciones a lo largo del tiempo de las señales de voz habituales recibidas desde dos transmisores, separadas por retardos diferenciales de 0,25 ms y 5,00 ms, respectivamente. Las Figuras 11(b) y 12(b) representan los gráficos de la densidad espectral de potencia para las señales transmitidas y recibidas que han sido prefiltradas según la presente invención con el filtro del ejemplo 9. Los resultados obtenidos en ambos casos son comparables con los de la señal recibida representada en la Figura 3(b). Por lo tanto, el filtro del ejemplo 9 genera resultados aceptables con respecto a un rango de retardos diferenciales. En consecuencia, mediante la instalación de un filtro de este tipo, las diferencias de retardo diferencial provocadas por la reorientación de la red no degradarán gravemente la señal.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de comunicaciones de audio que comprende una fuente de señales de audio, por lo menos dos transmisores para transmitir señales de audio idénticas generadas por la fuente de señales de audio a uno o más receptores, y unos medios de red para transmitir señales desde la fuente de señales de audio hasta los transmisores, en el que los transmisores transmiten al receptor o los receptores señales moduladas que son desmoduladas por el receptor o los receptores, **caracterizado** porque por lo menos uno de los transmisores está provisto de unos medios para modificar las señales recibidas desde los medios de red, antes de su transmisión, y cambiar de ese modo la fase de las señales recibidas en una cantidad que es una función del tiempo o de la frecuencia de la señal recibida, de tal forma que la señal de dicho por lo menos un transmisor sea diferente de la correspondiente señal del otro transmisor o transmisores.
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que la cantidad de cambio de fase de las señales varía periódicamente con respecto a la frecuencia.
3. Sistema según la reivindicación 2, en el que la cantidad de cambio de fase de las señales varía sinusoidalmente con respecto a la frecuencia.
4. Sistema según la reivindicación 1, en el que la cantidad de cambio de fase de las señales varía periódicamente con respecto al tiempo.
5. Sistema según la reivindicación 4, en el que la cantidad de cambio de fase de las señales varía sinusoidalmente con respecto al tiempo.
6. Sistema según la reivindicación 1, en el que la cantidad de cambio de fase cambia aleatoriamente con respecto a la frecuencia o el tiempo.
7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que asimismo se lleva a cabo una variación de la amplitud de las señales que es una función del tiempo y/o la frecuencia de la señal recibida.
8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende dos transmisores de los cuales sólo uno está provisto de dichos medios de procesamiento de señales.
9. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende dos transmisores, estando provisto cada uno de ellos de dichos medios de procesamiento de señales.
10. Sistema según la reivindicación 9 cuándo ésta está subordinada a la reivindicación 2 ó 3, en el que ambos transmisores están provistos de unos medios de procesamiento de señales para cambiar la fase de la señal periódicamente con respecto a la frecuencia o el tiempo, y en el que las variaciones de la fase con respecto a la frecuencia de los dos medios de procesamiento de señales presentan un desfase mutuo de 180°.
11. Sistema según la reivindicación 10, en el que la magnitud del cambio de la fase es igual para ambos medios de procesamiento de señales.
12. Sistema según las reivindicaciones 9 a 11, que comprende transmisores, estando provisto cada uno de ellos de dichos medios de procesamiento de señales.
13. Sistema según la reivindicación 12, en el que cada uno de los tres medios de procesamiento de señales presenta diferentes respuestas en amplitud.
14. Sistema según la reivindicación 12 ó 13, en el que los tres medios de procesamiento de señales cambian la fase de las señales recibidas en una cantidad que varía de forma periódica con respecto a la frecuencia, y en el que cada uno de los tres medios de procesamiento de señales presenta períodos diferentes.
15. Sistema según la reivindicación 12 ó 13, en el que los tres medios de procesamiento de señales cambian la amplitud y la fase de las señales de entrada y presentan diferentes combinaciones de los parámetros de amplitud y fase cada uno.
16. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en el que por lo menos un transmisor comprende asimismo unos medios para llevar a cabo el preénfasis de ciertas frecuencias antes del procesamiento.
17. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en el que los transmisores son estacionarios.
18. Procedimiento para utilizar un sistema de comunicaciones de audio que comprende una fuente de señales de audio, por lo menos dos transmisores para transmitir señales de audio idénticas generadas por la fuente de señales de audio a uno o más receptores, y unos medios de red para transmitir señales desde la fuente de señales de audio hasta los transmisores, en el que los transmisores transmiten al receptor o los receptores señales moduladas que son desmoduladas por el receptor o los receptores, estando **caracterizado** el procedimiento por el procesamiento, por lo

## ES 2 290 099 T3

menos en uno de los transmisores, de las señales recibidas desde los medios de red antes de su transmisión, para cambiar de ese modo la fase de las señales recibidas en una cantidad que es una función del tiempo o la frecuencia de la señal recibida, de tal forma que la señal de dicho por lo menos un transmisor sea diferente de la correspondiente señal del otro transmisor o transmisores.

5

19. Procedimiento según la reivindicación 18, que comprende la variación periódica de la cantidad de cambio de fase con respecto a la frecuencia.

10

20. Procedimiento según la reivindicación 19, que comprende la variación sinusoidal de la cantidad de cambio de la fase con respecto a la frecuencia.

21. Procedimiento según la reivindicación 18, que comprende la variación periódica de la cantidad de cambio de la fase con respecto al tiempo.

15

22. Procedimiento según la reivindicación 18, que comprende la variación sinusoidal de la cantidad de cambio de la fase con respecto al tiempo.

20

23. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que la cantidad de cambio de la fase varía aleatoriamente con respecto a la frecuencia y/o el tiempo.

24. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 23, que comprende asimismo además la variación de la amplitud en función del tiempo y/o la frecuencia de la señal recibida.

25

25. Procedimiento según la reivindicación 19 ó 20, en el que se varía la fase de dos transmisores del sistema, de tal forma que las variaciones de fase presentan un desfase de  $180^\circ$  uno respecto a la otra.

26. Procedimiento según la reivindicación 25, en el que la magnitud del cambio de fase es igual en las señales de ambos transmisores.

30

27. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 26, en el que el sistema presenta tres transmisores, comprendiendo el procedimiento el procesamiento de las señales de los tres transmisores antes de la modulación para la transmisión, de tal forma que las respuestas en amplitud de los transmisores sean diferentes entre sí.

35

28. Procedimiento según la reivindicación 25, 26 ó 27, en el que la fase de las señales recibidas se cambia en una cantidad que varía de forma periódica con respecto a la frecuencia, utilizando diferentes períodos en cada uno de los tres transmisores.

40

29. Procedimiento según la reivindicación 25, 26, 27 ó 28, en el que las señales se procesan en los tres transmisores para cambiar su amplitud y fase utilizando combinaciones de parámetros diferentes para los tres transmisores.

30. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 19, que comprende el preénfasis de ciertas frecuencias antes del procesamiento por lo menos en uno de los transmisores.

45

50

55

60

65

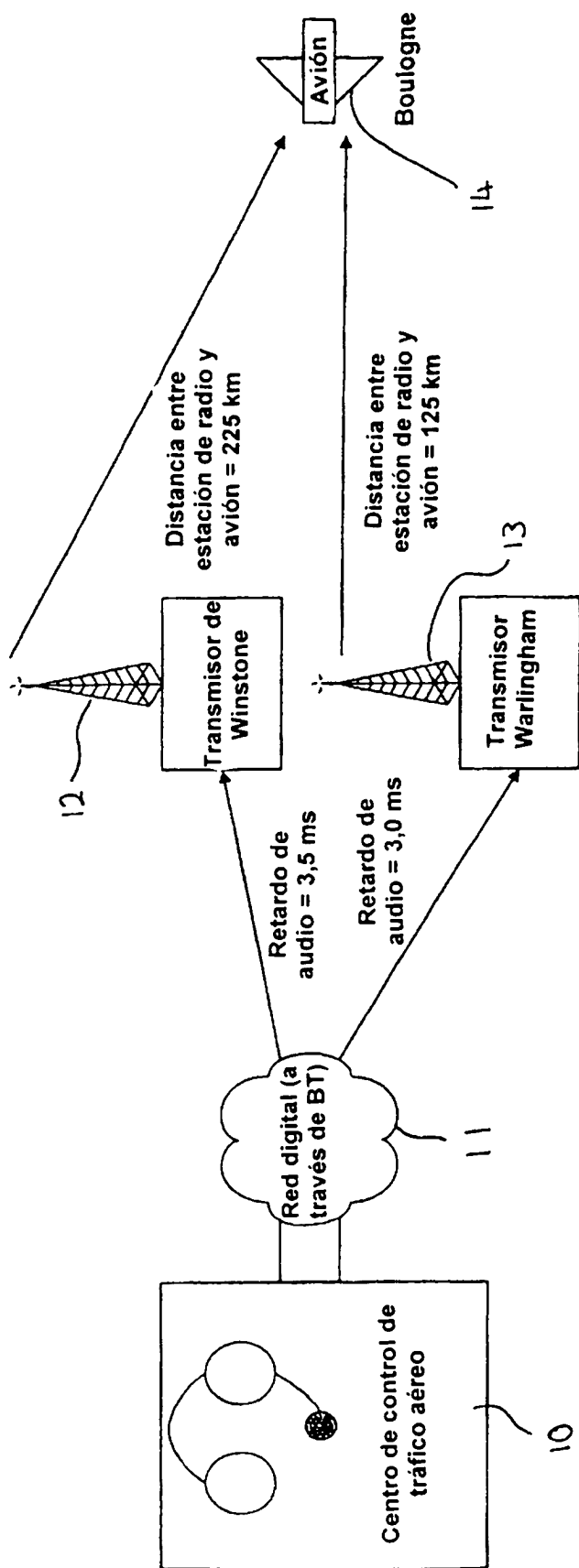


Figura 1

Figura 2

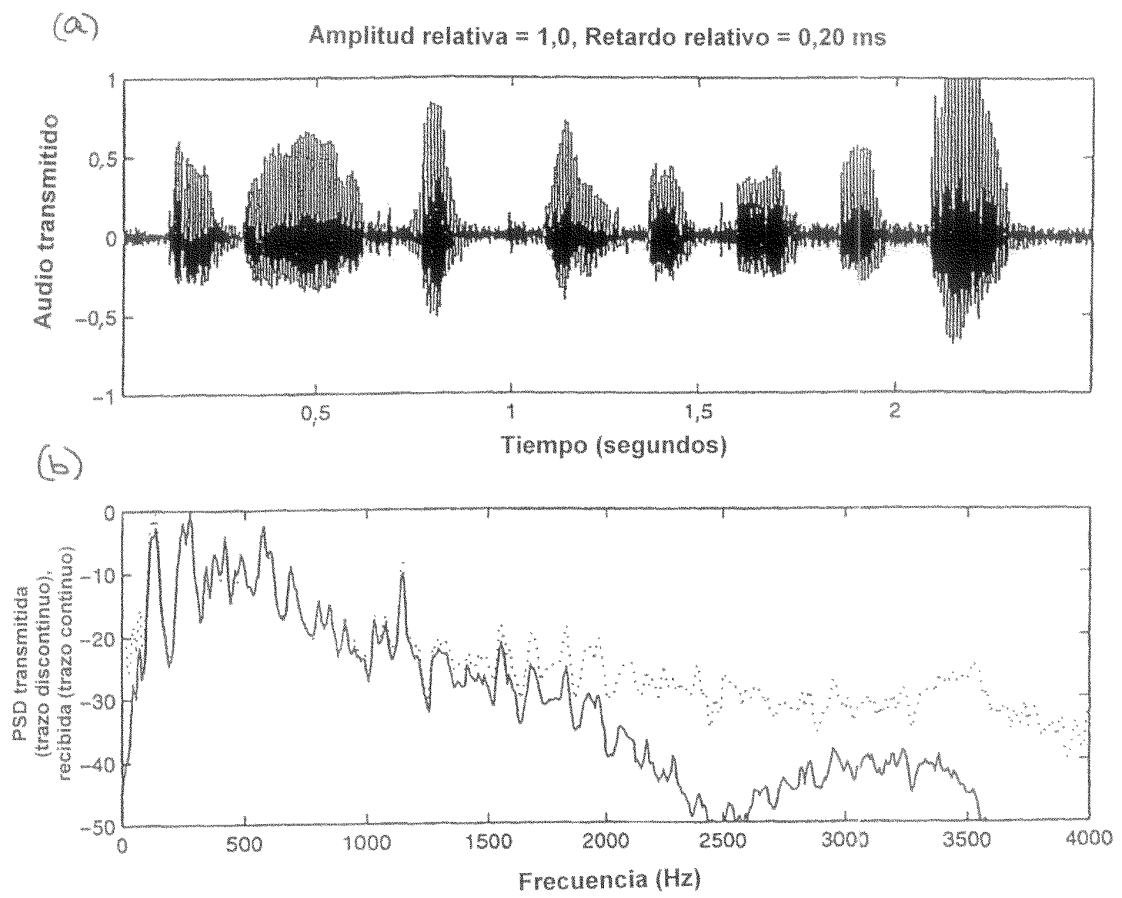
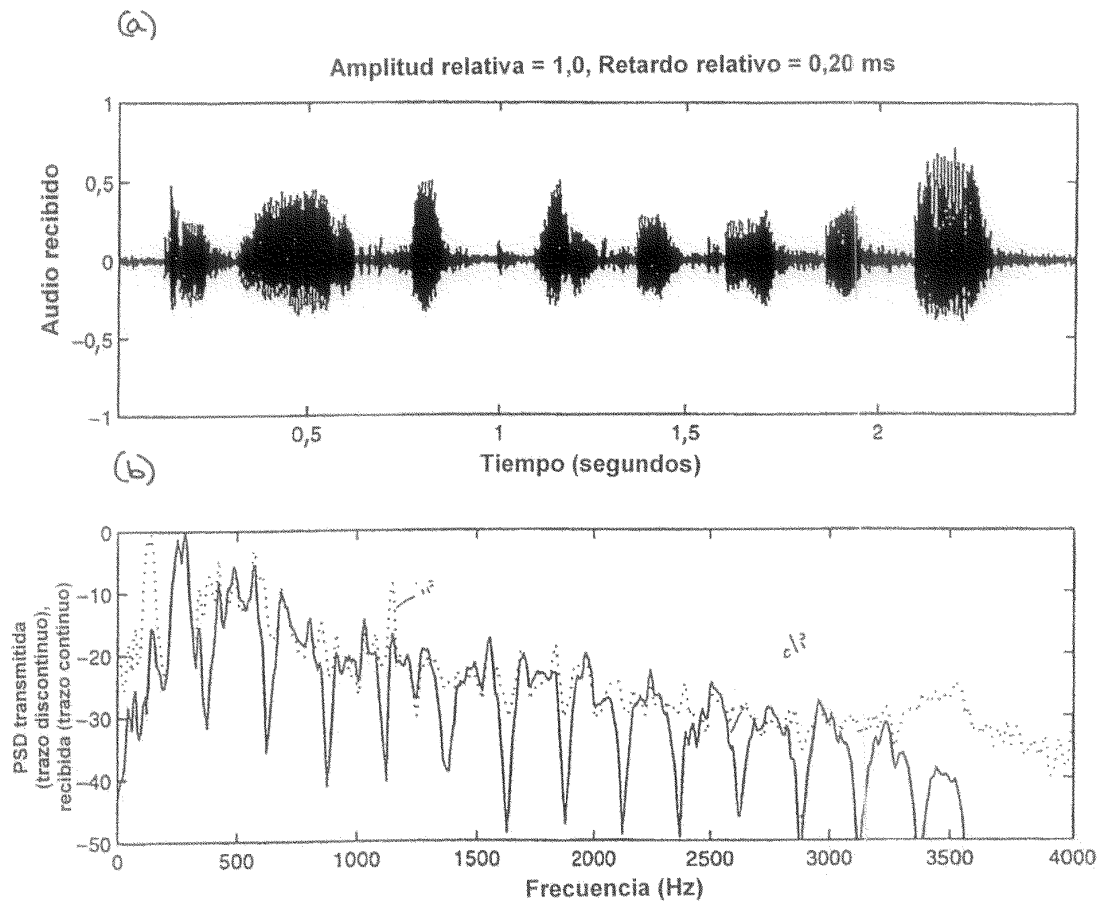


Figura 3



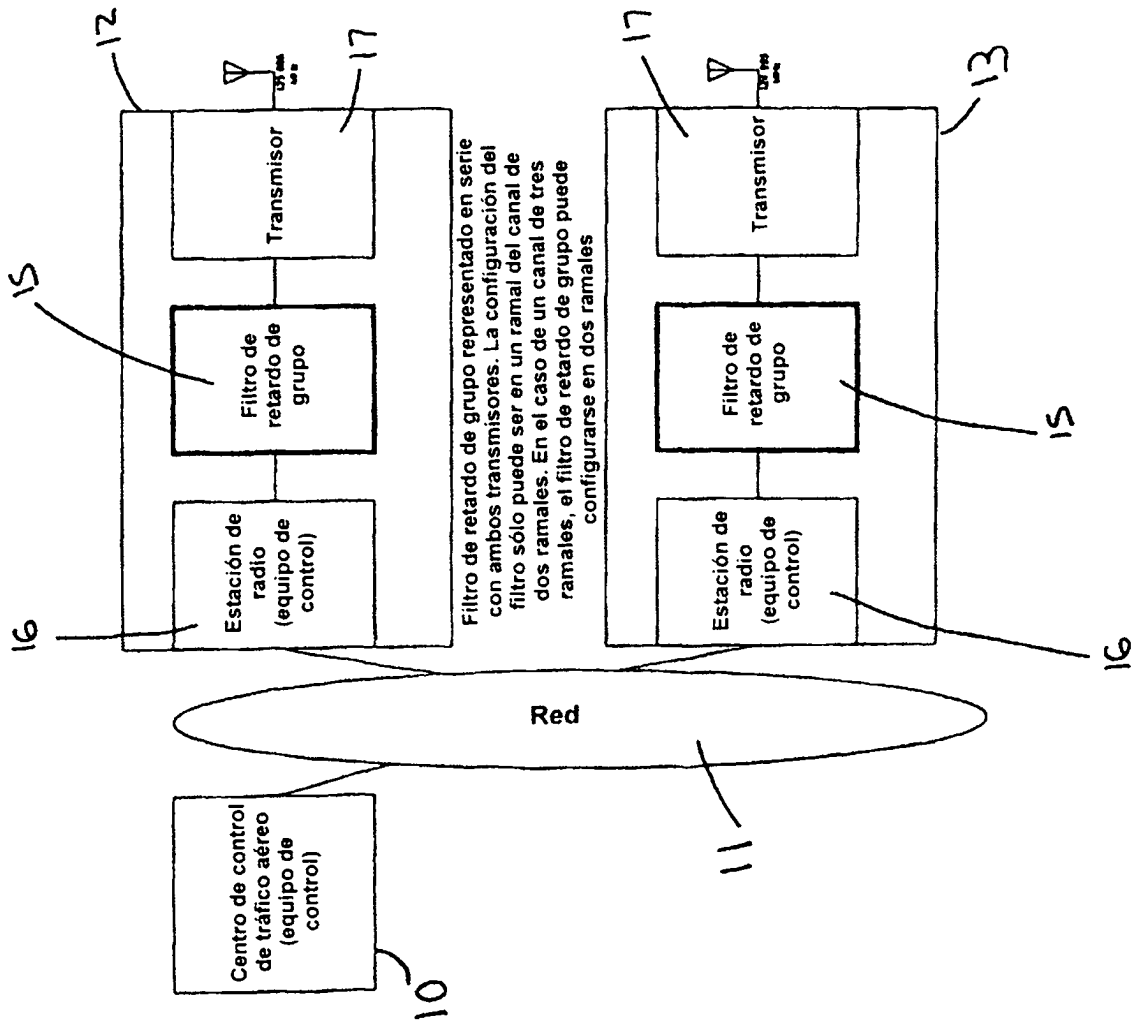


Figura 4

Variación aleatoria del retardo con respecto al tiempo

Ejemplo 2

Retardo en función del tiempo transcurrido

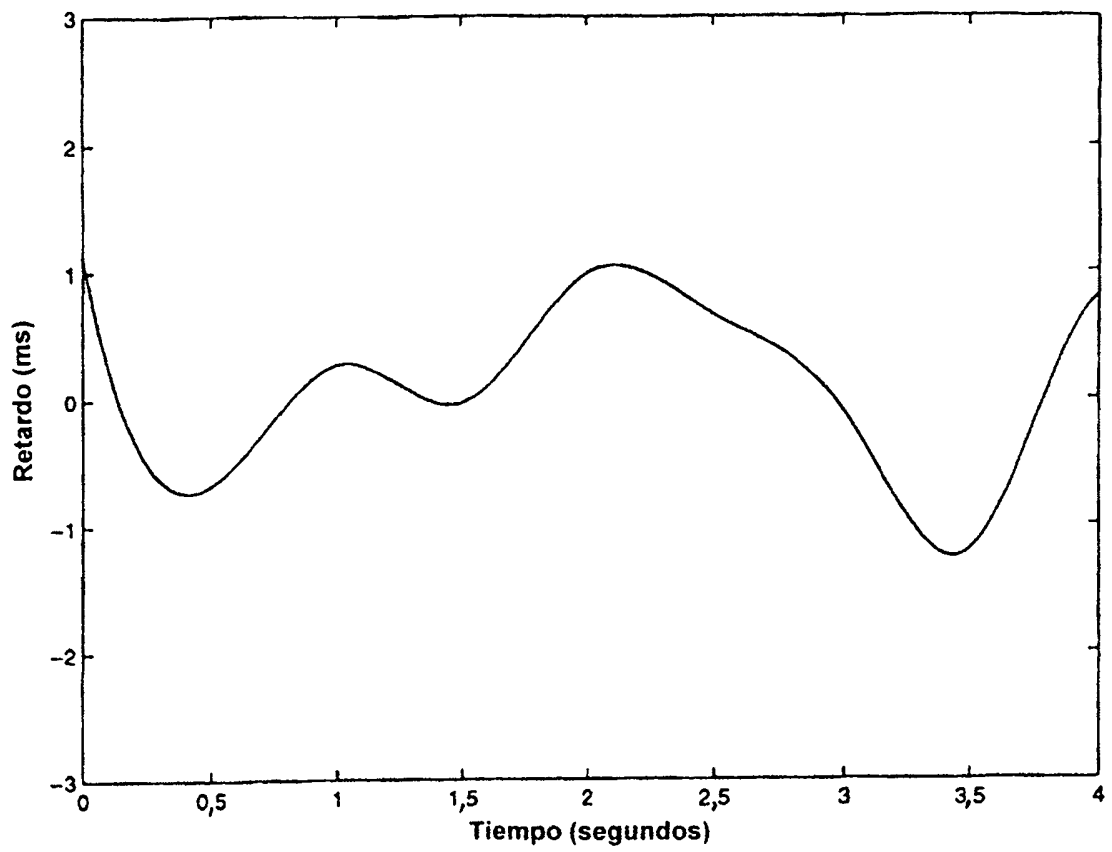


Figura 5

Variación sinusoidal de la fase con respecto a la frecuencia

Ejemplo 5

Txt: AMPL M = 0,00, AMPL P = 0,30 n° periodos = 8

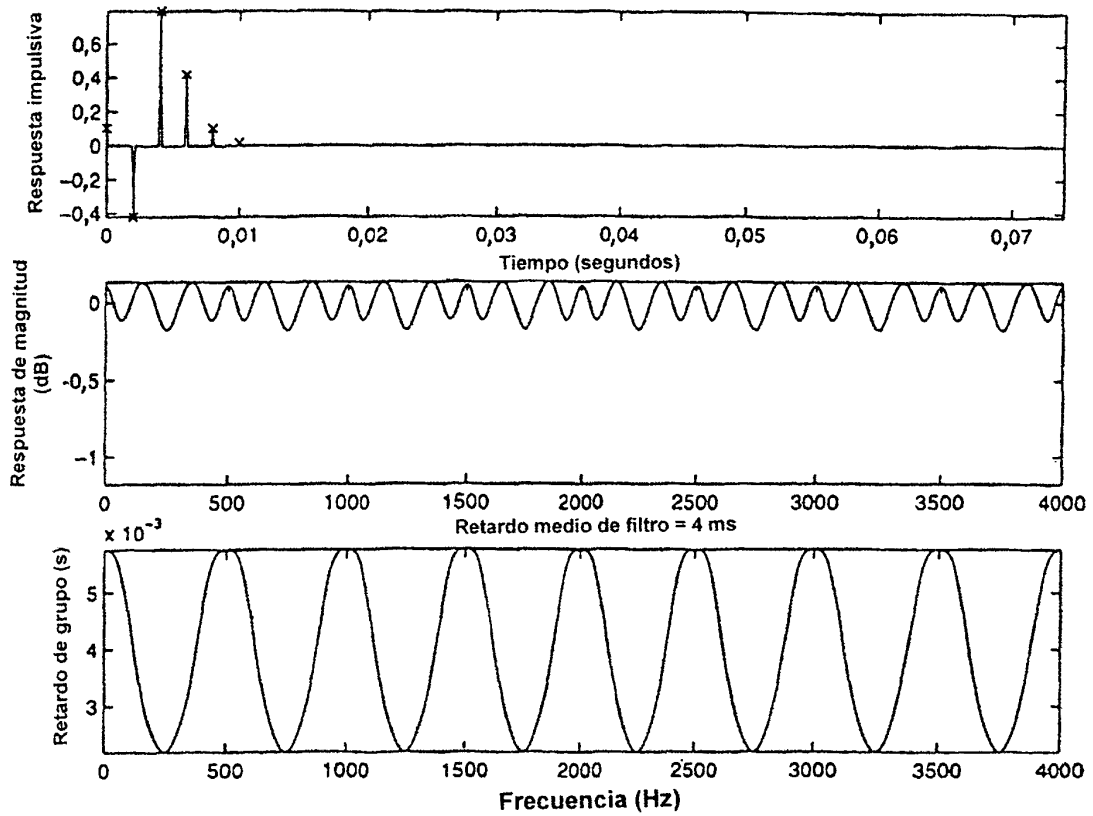


Figura 6

Variación monótonica del retardo de grupo con respecto a la frecuencia

Ejemplo 6

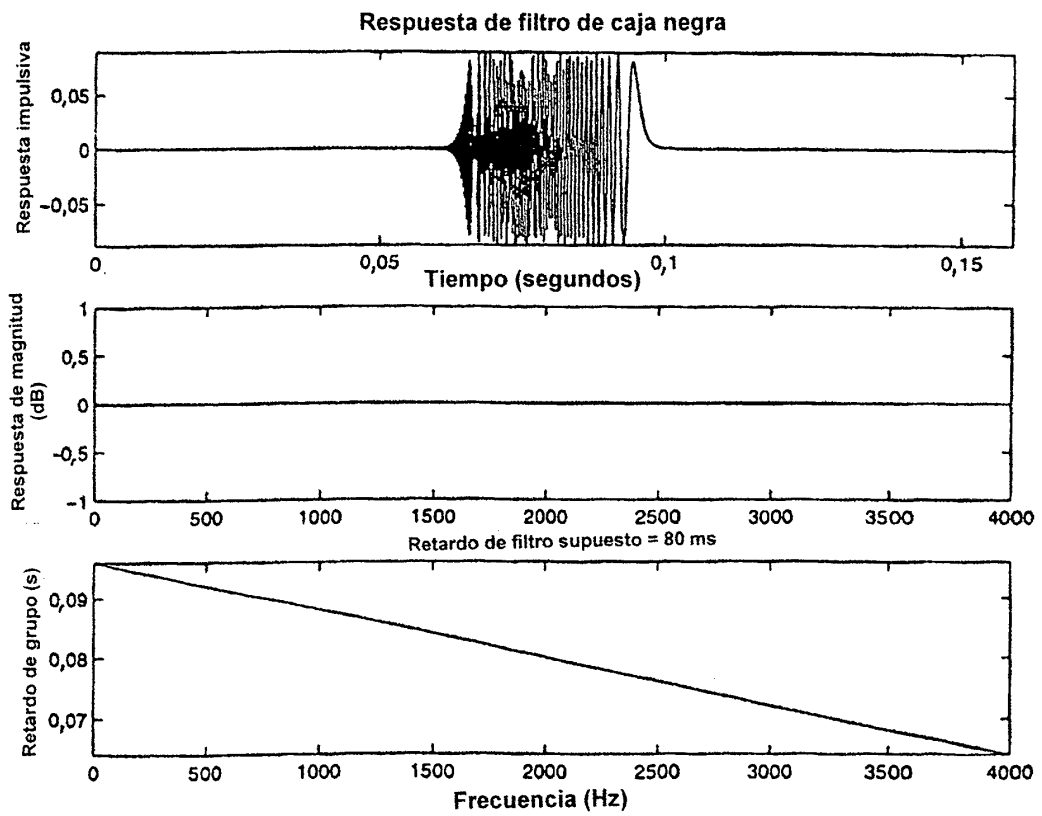


Figura 7

Ejemplo 7 **Figura 8**

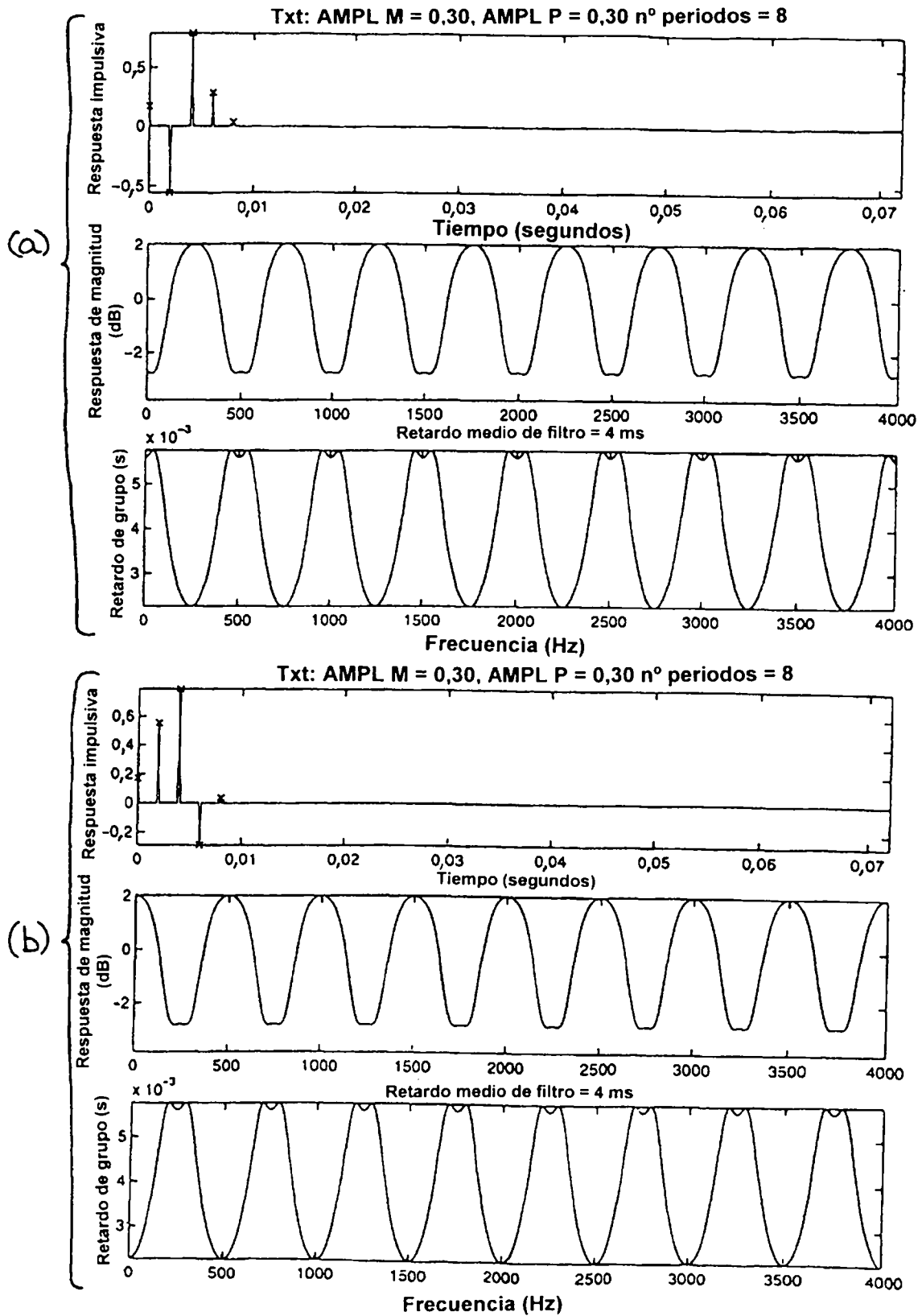
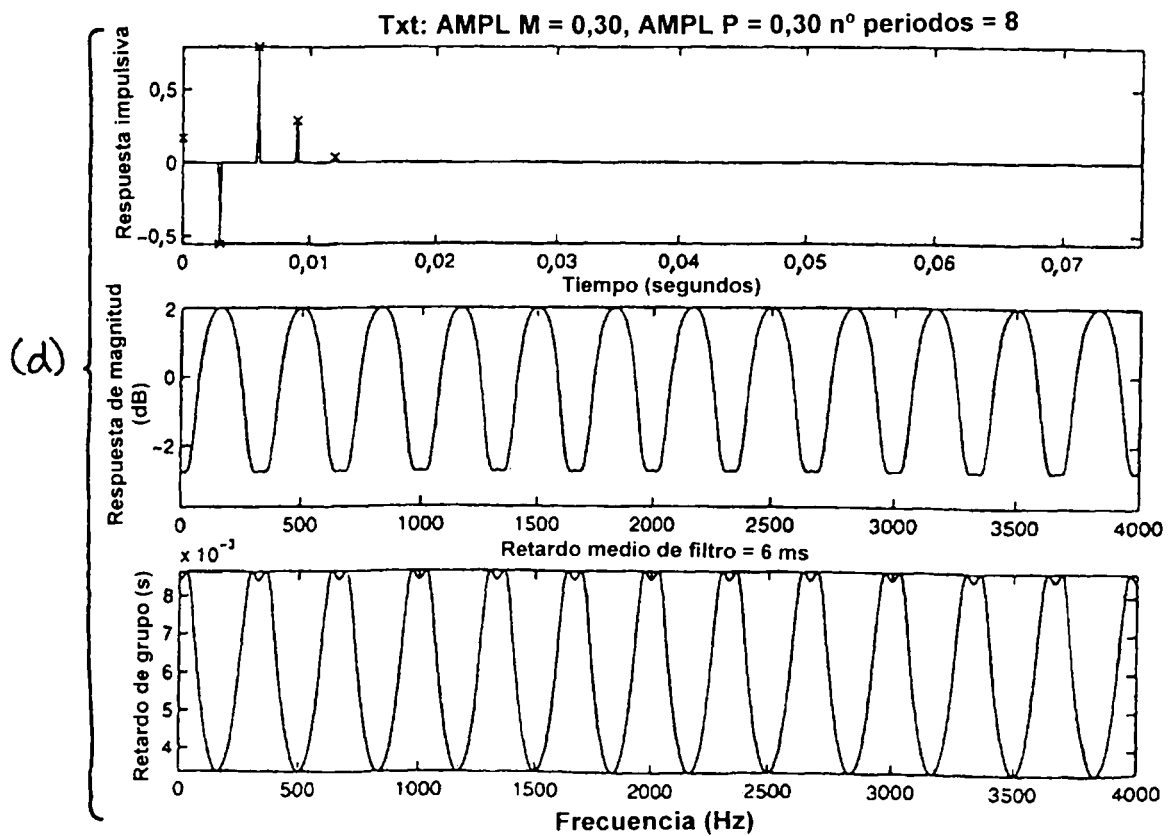
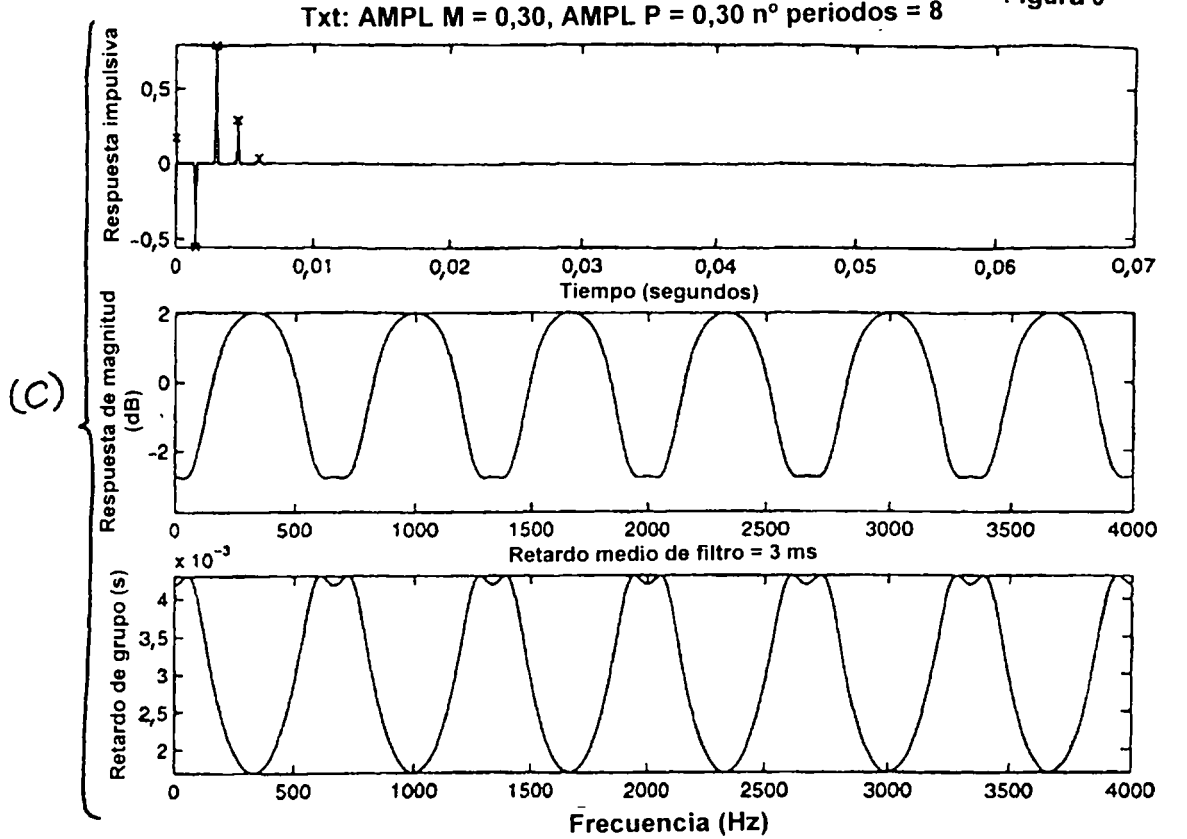
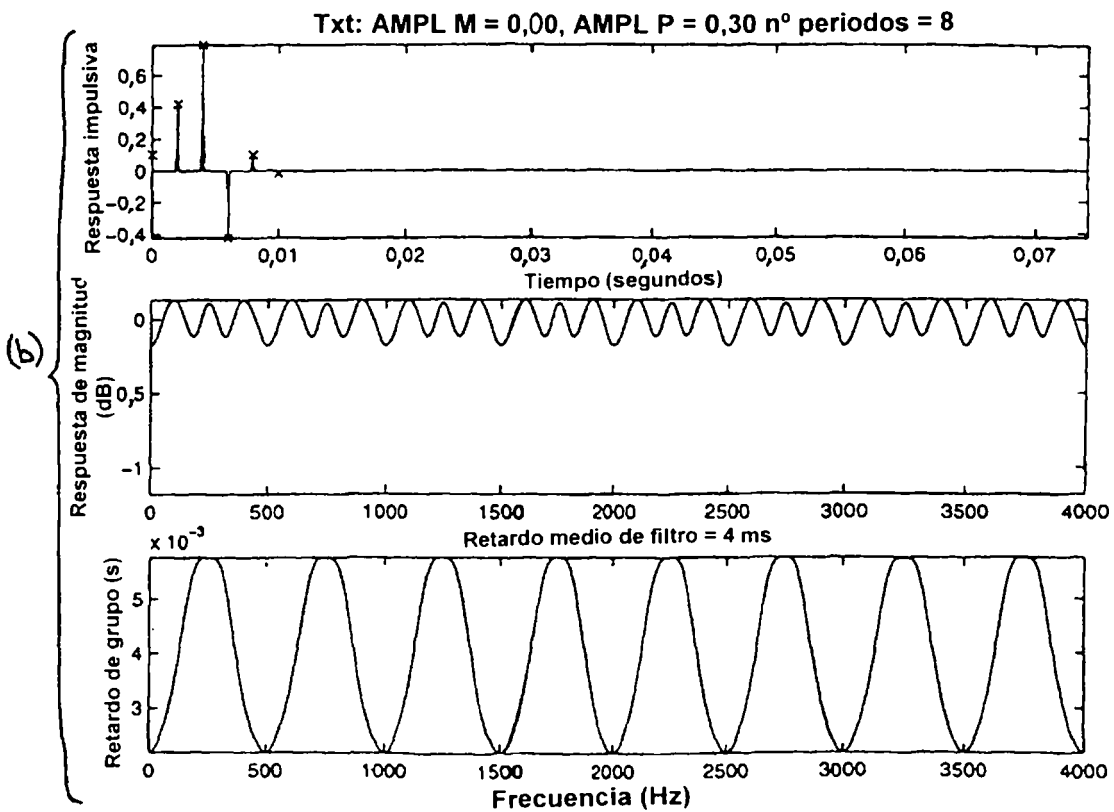
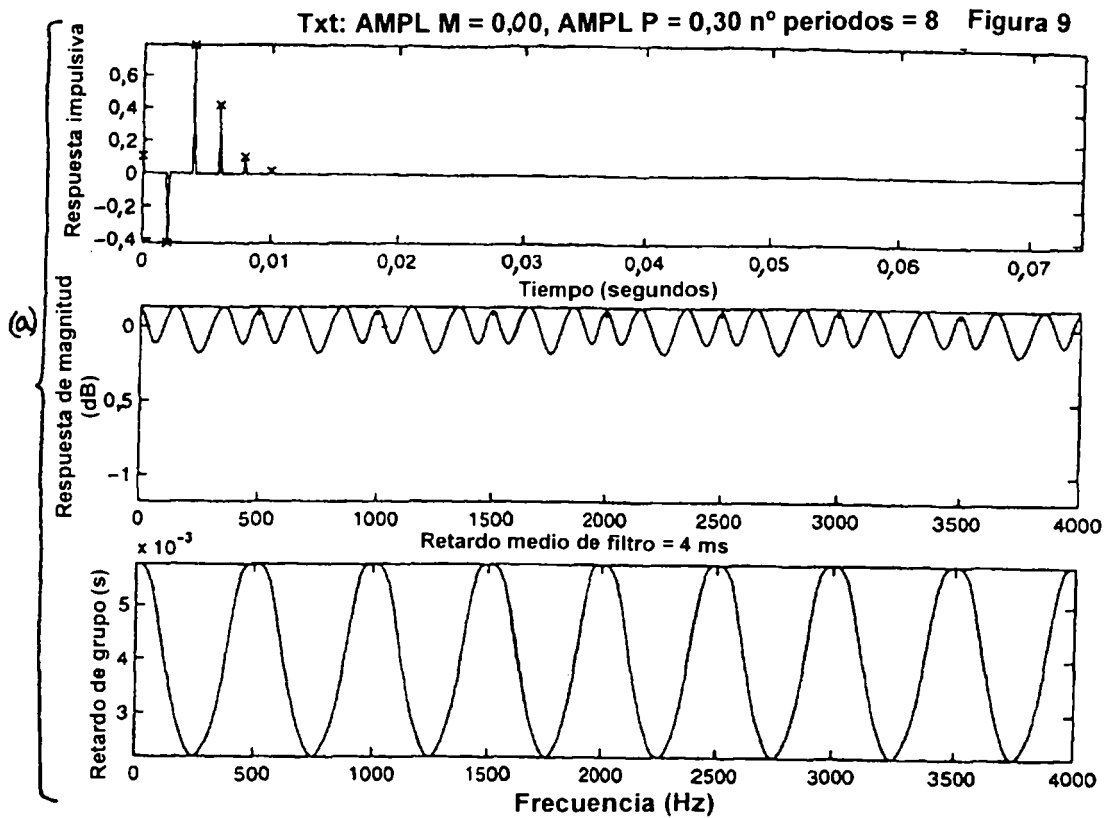


Figura 8



Ejemplo 9



Ejemplo 11

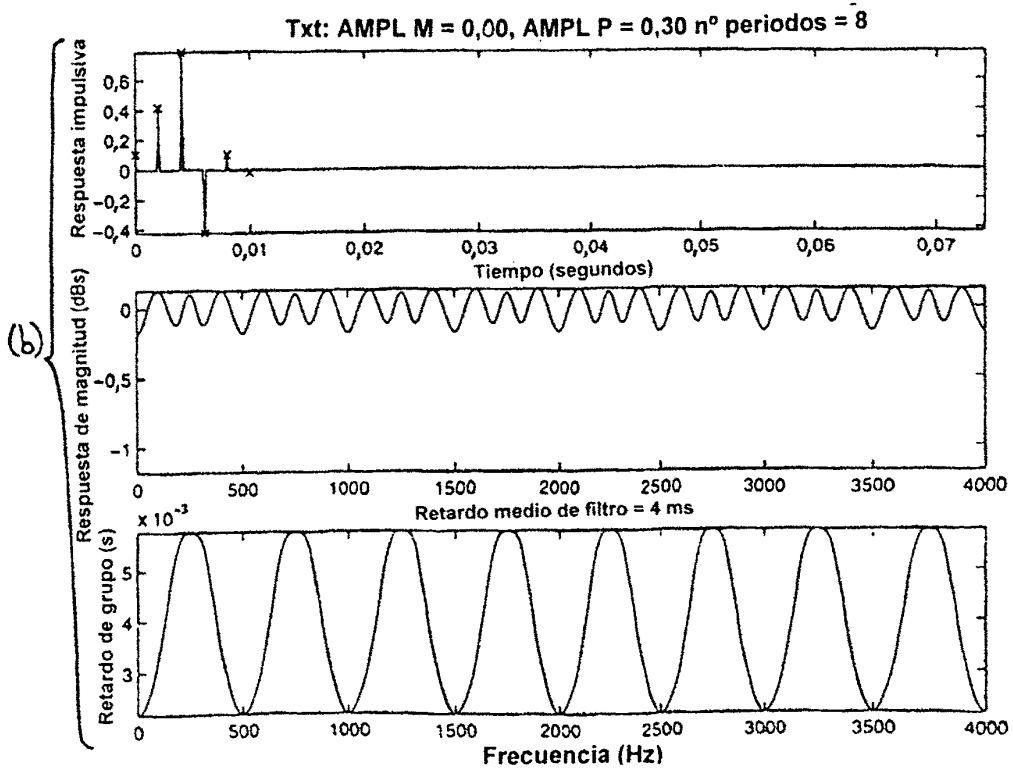
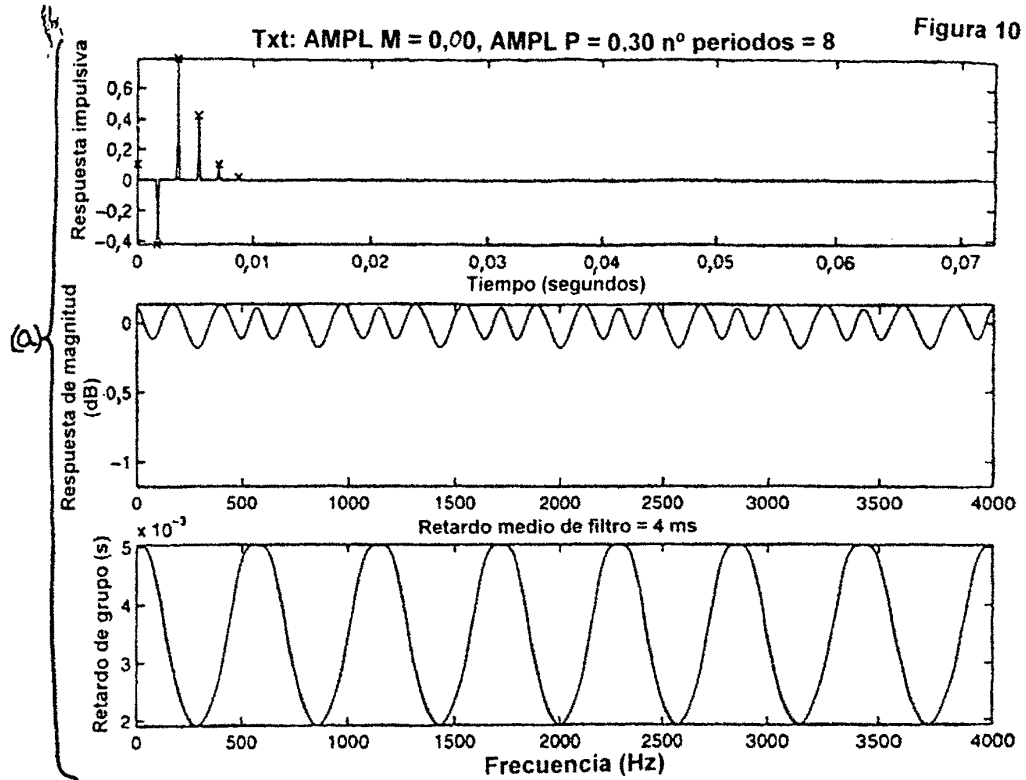


Figura 10

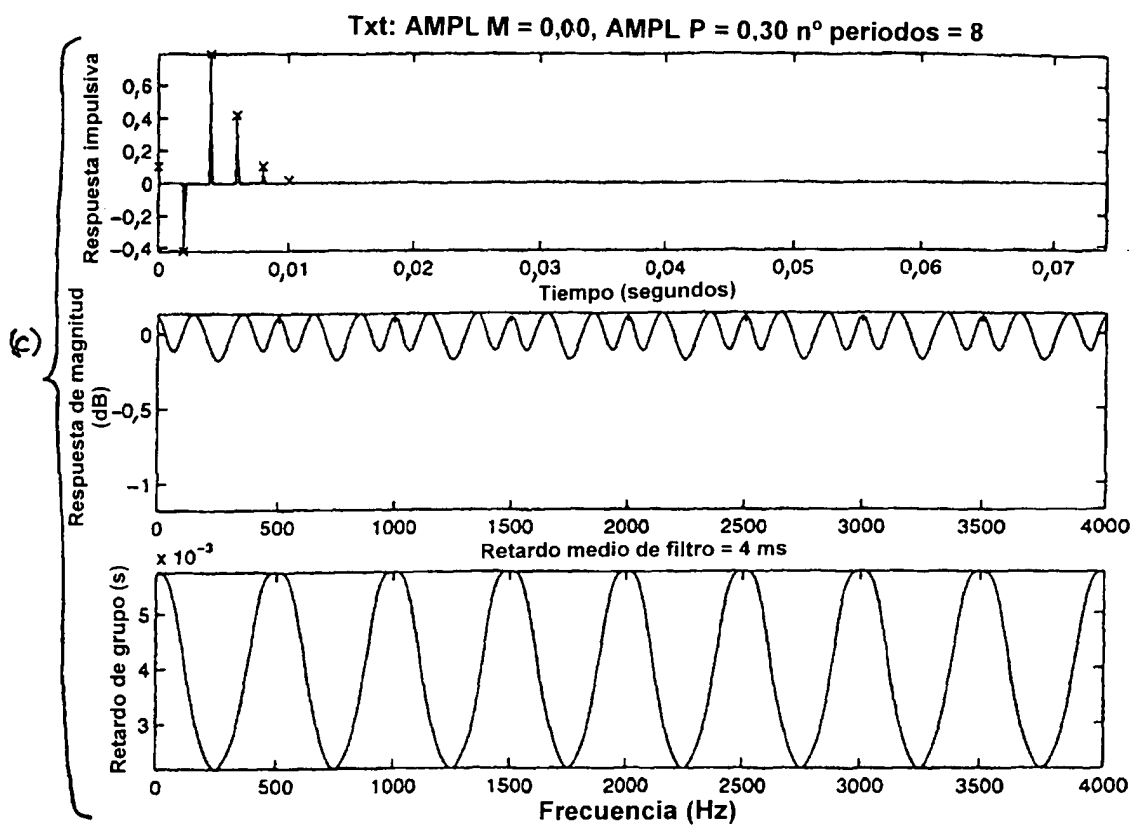


Figura 11

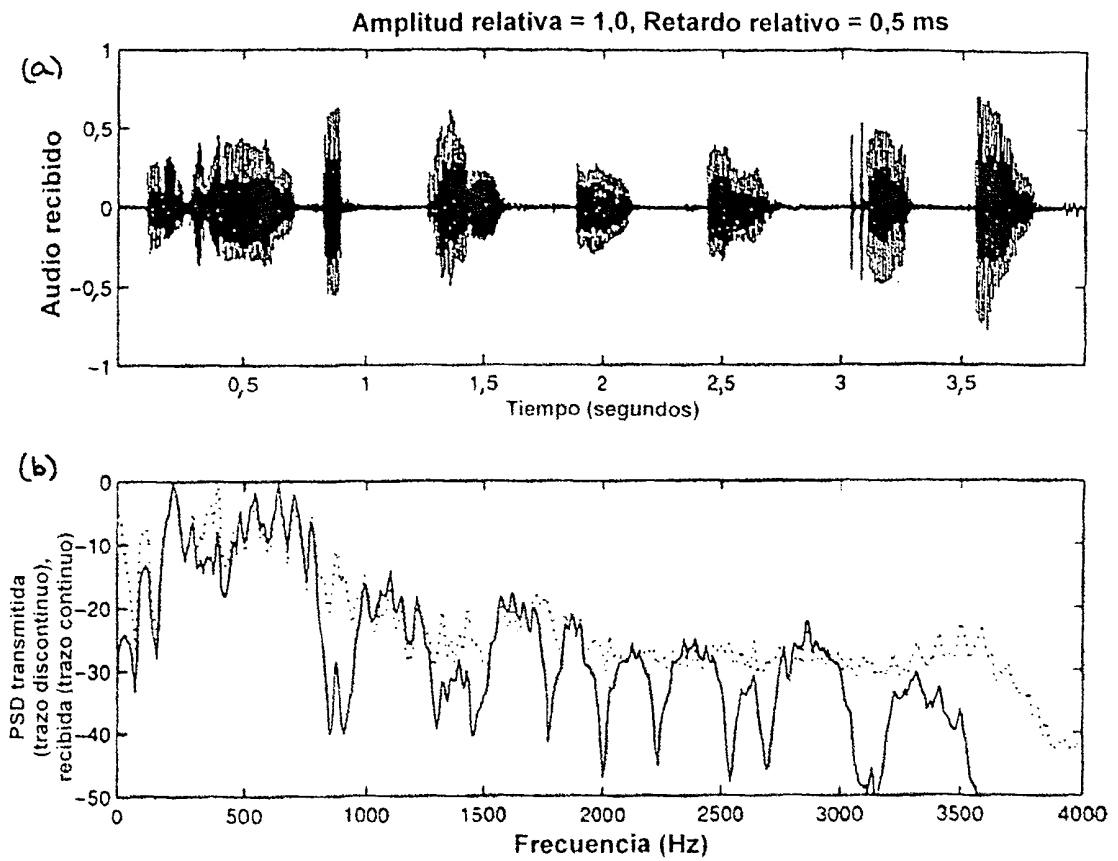


Figura 12

